

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**



**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання практичних, лабораторних занять,
курсової та самостійної роботи
з дисципліни**

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ

*(для студентів денної та заочної форм навчання
спеціальності 101 – Екологія)*

Харків – ХНУМГ ім. О. М. Бекетова – 2017

Методичні вказівки до виконання практичних занять, курсової та самостійної роботи з дисципліни «Моделювання та прогнозування стану довкілля» (для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 101 – Екологія) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : В. О. Бараннік. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 25 с.

Укладач канд. фіз.-мат. наук **В. О. Бараннік**

Рецензент канд. техн. наук, доц. **Є. Г. Пономаренко**

Рекомендовано кафедрою міських і регіональних екосистем, протокол № 6 від 25 грудня 2015 р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 Методичні вказівки до виконання практичних занять.....	5
2 Методичні вказівки до виконання лабораторних занять.....	7
2 Методичні вказівки до виконання курсової роботи.....	13
3 Методичні вказівки до самостійної роботи.....	23

ВСТУП

Метою викладання навчальної дисципліни «Моделювання та прогнозування стану довкілля» є формування у студентів теоретичних знань і практичних навичок у галузі математичного моделювання фізичних й біотичних процесів під впливом природних і антропогенних чинників у довкіллі та прогнозування змін його стану на різних рівнях.

Основними завданнями вивчення дисципліни «Моделювання і прогнозування стану довкілля» є навчання студентів:

- методам математичного моделювання фізичних процесів у довкіллі;
- методам моделювання біотичних процесів;
- врахуванню в математичних моделях природних та антропогенних чинників, що впливають на досліджувані процеси;
- прогнозуванню наслідків антропогенного впливу на біотичну та абіотичну складові довкілля.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні:

знати:

- основні терміни і поняття, що використовуються в межах означеного курсу, типи моделей, що використовуються в галузі охорони довкілля; етапи моделювання та їх послідовність;
- принципи застосування диференціальних рівнянь при моделюванні екологічних процесів;
- основні положення математичної статистики та умови використання регресійних моделей; процедуру аналізу і моделювання часових рядів;
- методи прогнозування на основі регресійної моделі та моделі часового ряду;
- основні моделі гідро екологічних процесів і водних екосистем;
- моделі екологічних систем, динаміки чисельності популяцій, біоценозів, трофічного ланцюга;

вміти:

- визначати тип моделі, виконувати необхідні розрахунки параметрів моделі;
- обирати початкова і граничні умови при верифікації математичних моделей;
- за результатами моделювання визначати фактори антропогенного впливу (забруднень) на стан навколишнього природного середовища та окремих екосистем;
- розробляти і використовувати моделі популяційної екології;
- оцінювати адекватність і ефективність прогностичних схем;

мати компетентності:

- застосовувати понятійно-категорійний апарат та методи моделювання і прогнозування у професійній діяльності;
- проводити аналіз та обробку модельної інформації про стан навколишнього природного середовища, представляти її засобами сучасних НТП.

1 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

Практичні заняття – це важлива частина підготовки майбутнього фахівця, що дозволяє йому оволодіти навичками складання й використання в інженерних розрахунках різноманітних моделей процесів і простих систем. Мета практичних занять досягається спільним розглядом із студентами питань і прикладів математичного моделювання процесів, що відбуваються в природних і біоінженерних системах. З метою продуктивної організації проведення практичних занять методичними вказівками передбачається перелік завдань для виконання та питань для обговорення у відповідності до змістовних модулів і навчальних тем, що передбачені навчальною і робочою програмою.

1.1 Місце і види математичного моделювання в системному аналізі проблем забруднення довкілля

Запитання до теми:

- 1) визначення системи;
- 2) види систем;
- 3) класифікація систем;
- 4) визначення моделей;
- 5) види моделей;
- 6) класифікація математичних моделей процесів довкілля;
- 7) стадії створення математичної моделі процесу довкілля;
- 8) використання математичних моделей для вивчення систем довкілля;
- 9) технічні засоби математичного моделювання процесів довкілля.

1.2 Регресійні моделі параметрів стану систем довкілля

Запитання до теми:

- 1) класифікація імовірнісних моделей стану систем довкілля;
- 2) відмінності статистичних моделей процесів довкілля;
- 3) визначення статистик;
- 4) використання інженерних калькуляторів для розрахунку статистик.

Завдання до теми: оцінка параметрів лінійної регресії за вибірковими даними спостережень.

1.3 Детерміновані моделі процесів у біореакторах

Запитання до теми:

- 1) використання біореакторів у побуті і промисловості;
- 2) схема і режим роботи ідеального біореактора циклічної дії;
- 3) схема і режим роботи ідеального біореактора-змішувача;
- 4) схема і режим роботи ідеального біореактора-витискувача.

Завдання до теми:

- 1) розрахунок процесу очистки стічної води у біореакторі циклічної дії за наданими вихідними даними;
- 2) розрахунок процесу очистки стічної води у біореакторі-змішувачі за наданими вихідними даними;
- 3) розрахунок процесу очистки стічної води у біореакторі-витискувачі за наданими вихідними даними.

1.4 Детерміновані моделі процесів у водоймах

Запитання до теми:

- 1) види нереактивних процесів навколишнього середовища;
- 2) види реактивних процесів навколишнього середовища;
- 3) стан динамічної рівноваги.

Завдання до теми: розрахунок вмісту неконсервативної речовини у водоймі у стані динамічної рівноваги за наданими вихідними даними.

1.5 Список рекомендованих літературних джерел

1. Бараннік В. О. Моделювання і прогнозування стану довкілля : навч. посіб. / В. О. Бараннік. – Харків : ХНАМГ, 2007. – 85 с.
2. Вавилин В. А. Нелинейные модели биологической очистки и процессов самоочищения в реках : моногр. / В. А. Вавилин. – М. : Наука, 1983. – 158 с.
3. Ковальчук П. І. Моделювання і прогнозування стану навколишнього середовища: навч. посіб. / П. І. Ковальчук. – Київ : Либідь, 2003. – 208 с.
4. Прокопенко А. И. Экономико-экологическое моделирование : учеб. пособ. / А. И. Прокопенко, А. Г. Вайнер, В. Л. Галкин ; Харьк. гос. пед. ун-т им. Г. С. Сковороды. – Харьков : АО «Бизнес Информ», 1997. – 360 с.
5. Примаков А. В. Системный анализ контроля и управления качеством воды и воздуха : моногр. / А. В. Примаков, В. В. Кафаров, К. И. Качиашвили. – Киев : Наук. думка, 1991. – 360 с.
6. Крамер Г. Математические методы статистики : пер. с англ. / Г. Крамер. – М. : Мир, 1975. – 656 с.
7. Бендат Дж. Прикладной анализ случайных данных : пер. с англ. / Дж. Бендат, А. Пирсол. – М. : Наука, 1989. – 540 с.

2 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ

Лабораторні роботи – це важлива частина підготовки майбутнього фахівця, що дозволяє йому оволодіти навичками складання й використання в інженерних розрахунках різноманітних моделей процесів і простих систем. Мета лабораторних робіт досягається спільним використанням із студентами імітаційних моделей для дослідження процесів, що відбуваються в природних і біоінженерних системах. З метою продуктивної організації проведення лабораторних занять методичними вказівками передбачається перелік завдань для виконання та питань для обговорення у відповідності до змістовних модулів і навчальних тем, що передбачені навчальною і робочою програмою.

2.1 Понятійний апарат та загальні принципи моделювання і прогнозування стану довкілля

Запитання до теми:

- 1) навести приклади і надати опис відкритих систем довкілля з поясненнями;
- 2) навести приклади і надати опис проточних систем довкілля з поясненнями;
- 3) навести приклади і надати опис непроточних систем довкілля з поясненнями;
- 4) навести приклади і надати опис обміну речовинами в системах;
- 5) навести приклади і надати опис обміну енергією в системах;
- 6) навести приклади і надати опис силової взаємодії в системах;
- 7) надати характеристику термінам «змінна», «вихід», «вхід», «коефіцієнт», «константа» у складі параметрів стану системи.

2.2 Понятійний апарат і засади моделювання і прогнозування стану довкілля

Запитання до теми:

- 1) навести приклади і надати фізичних моделей систем навколишнього середовища з поясненнями;
- 2) навести приклади і надати опис аналогових моделей систем навколишнього середовища з поясненнями;
- 3) навести приклади і надати опис ідеальних моделей систем навколишнього середовища;
- 4) навести приклади і надати опис знакових моделей систем навколишнього середовища.

Завдання до теми:

- 1) надати опис функцій клавіш інженерного калькулятора;
- 2) надати опис функцій клавіш наукового калькулятора.

2.3 Місце і види математичного моделювання в системному аналізі проблем забруднення довкілля

Запитання до теми:

- 1) навести приклади і надати опис призначення детермінованих моделей систем довкілля;
- 2) навести приклади і надати опис призначення імовірнісних моделей систем довкілля;
- 3) навести приклади і надати опис призначення динамічних моделей довкілля;
- 4) навести приклади і надати опис статичних моделей довкілля;
- 5) навести приклади і надати опис призначення неперервних моделей систем довкілля;
- 6) навести приклади і надати опис призначення дискретних моделей систем довкілля;
- 7) навести приклади і надати опис призначення моделей систем довкілля з розподіленими параметрами;
- 8) навести приклади і надати опис призначення моделей систем довкілля із зосередженими параметрами.

Завдання до теми:

- 1) створити послідовність випадкових чисел вказаного викладачем розміру з використанням можливостей інженерного калькулятора;
- 2) перевірити «випадковість» створеної послідовності чисел з використанням відповідних діаграм розсіювання даних.

2.4 Системний підхід до побудови математичних моделей

Запитання до теми:

- 1) надати опис способів відбору одиниць спостережень з генеральної сукупності, що складають велику систему;
- 2) надати опис простого випадкового відбору одиниць спостережень з генеральної сукупності, що складають велику систему;
- 3) надати опис систематичного випадкового відбору одиниць спостережень з генеральної сукупності, що складають велику систему.

Завдання до теми:

- 1) створити послідовність випадкових чисел вказаного викладачем розміру з використанням можливостей Excel[®];
- 2) перевірити «випадковість» створеної послідовності чисел з використанням відповідних діаграм розсіювання даних, створених за допомогою Excel[®].

2.5 Статистичні методи моделювання і прогнозування стану довкілля (регресійні моделі, моделі часової та просторової динаміки)

Запитання до теми:

- 1) надати опис визначення і використання статистик «вибіркове середнє», «стандартне відхилення», «коефіцієнт кореляції»;
- 2) надати опис складових статистичного аналізу даних спостережень з метою створення статистичної моделі процесу довкілля.

Завдання до теми:

- 1) за наведеними викладачем даними простої випадкової вибірки розрахувати вибіркове середнє, стандартне відхилення та границі довірчого (95%) інтервалу, що вміщує параметр розподілу «очікуване середнє»;
- 2) створити діаграму розподілу даних простої випадкової вибірки разом з наведеними розрахованими границями довірчого інтервалу.

2.6 Регресійні моделі параметрів стану систем довкілля

Запитання до теми:

- 1) надати опис використання методу найменших квадратів і визначення параметрів рівняння регресії $y(x) = \theta_0 + \theta_1 x$;
- 2) надати опис визначення параметрів рівняння лінійної регресії $y(x) = \theta_0 + \theta_1 x$.

Завдання до теми:

- 1) за наведеними викладачем даними простої випадкової вибірки розрахувати коефіцієнт кореляції, визначити наявність лінійної регресії і розрахувати величини параметрів регресії θ_0 і θ_1 ;
- 2) створити діаграму розподілу даних простої випадкової вибірки разом з графіком лінійної регресії.

2.7 Моделі Монте-Карло

Запитання до теми: надати опис створення і використання емпіричної функції розподілу даних спостережень, що складають просту випадкову вибірку.

Завдання до теми: за наданою викладачем простою випадковою вибіркою даних спостережень створити графік емпіричної функції розподілу і розрахувати імовірність визначених викладачем випадкових подій.

2.8 Марковські моделі процесів у довкіллі

Запитання до теми: надати опис матричної моделі Уільямсона щодо динаміки популяції комах з трьохрічним життєвим циклом.

Завдання до теми: за наданими викладачем даними щодо початкового розподілу комах за віком розрахувати динаміку подальшого їх розподілу на протязі заданої кількості років.

2.9 Моделювання і прогнозування наслідків антропогенного впливу на довкілля

Запитання до теми:

1) надати опис і навести приклади нереактивних процесів довкілля (адвекція, дифузія, адсорбція - десорбція, абсорбція – звітрювання);

2) надати опис і навести приклади нереактивних процесів довкілля (осідання – зависання, біологічне поглинання – біологічне вивільнення).

Завдання до теми: за наданими викладачем даними розрахувати щільності потоків речовини і питомі швидкості нереактивних процесів довкілля.

2.10 Аналітичне моделювання фізичних і біотичних процесів у довкіллі

Запитання до теми:

1) надати опис і навести приклади реактивних процесів довкілля (хімічні перетворення, гідроліз, фотоліз);

2) надати опис і навести приклади реактивних процесів довкілля (ферментативні реакції, біотрансформація).

Завдання до теми: за наданими викладачем даними розрахувати питомі швидкості реактивних процесів довкілля.

2.11 Принципи складання детермінованих моделей процесів у довкіллі

Запитання до теми:

1) надати опис складових рівняння матеріального балансу речовини для елементу системи;

2) надати опис закону діючих мас;

3) надати опис принципу стехіометричних обмежень.

Завдання до теми: за наданими викладачем вихідними даними розрахувати складові рівняння матеріального балансу і питому швидкість зміни вмісту речовини в елементі системи.

2.12 Детерміновані моделі процесів у біореакторах

Запитання до теми:

1) надати опис і навести приклади біореакторів циклічної дії;

2) надати опис і навести приклади біореакторів – змішувачів;

3) надати опис і навести приклади біореакторів – визискувачів.

Завдання до теми: за наданими викладачем вихідними даними розрахувати величини вмісту субстрату і біомаси мікроорганізмів в біореакторі циклічної дії у визначені моменти часу і побудувати графіки залежності вмісту від часу.

2.13 Детерміновані моделі процесів у водоймах

Запитання до теми: надати опис складових рівняння балансу маси неконсервативної речовини у водоймищі у стані динамічної рівноваги.

Завдання до теми: за наданими викладачем вихідними даними розрахувати залежність сталого вмісту неконсервативної речовини у водоймі від величини випаровування і побудувати відповідний графік.

2.14 Математичні моделі популяційної екології.

Моделювання і прогнозування глобальних біосферних процесів

Запитання до теми: надати опис складових динамічної моделі величини біомаси популяції організмів загального виду.

Завдання до теми: за наданими викладачем вихідними даними та користуючись засобами Excel[®] виконати перетворення матриць, які передбачені у бібліотеці Excel[®].

2.15 Дискретні моделі динаміки чисельності окремих популяцій

Запитання до теми: Надати опис складових дискретної моделі Мея динаміки популяції організмів з коротким періодом часу розмноження у річному життєвому циклі

Завдання до теми: за наданими викладачем вихідними даними розрахувати зміни чисельності модельної популяції організмів на протязі заданого інтервалу часу та побудувати відповідний графік.

2.16 Непереривні моделі динаміки біоценозів

з урахуванням міжвидових відносин

Запитання до теми: надати опис складових моделі динаміки простої екологічної системи, що описується рівняннями Вольтера.

Завдання до теми: за наданими викладачем вихідними даними та користуючись засобами Excel[®] виконати числові розрахунки змін у часі біомаси популяції організмів за динамічним рівнянням, що апроксимоване скінченими різницями.

2.17 Моделювання трофічного ланцюга на прикладі

моделей «хижак-жертва»

Завдання до теми: за наданими викладачем вихідними даними розрахувати зміни у часі величини біомаси «хижака» і біомаси «жертви» за різними величинами співвідношень коефіцієнта розмноження «жертви» до коефіцієнта відмирання «хижака», побудувати відповідні графіки і надати коментарі за результатами їх споглядання.

2.18 Список рекомендованих літературних джерел

1. Бараннік В. О. Моделювання і прогнозування стану довкілля : навч. посіб. / В. О. Бараннік. – Харків : ХНАМГ, 2007. – 85 с.
2. Экология города : учеб. / [Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Ф. В. Стольберга]. – Киев: Либра, 2000. – 464 с.
3. Вавилин В. А. Нелинейные модели биологической очистки и процессов самоочищения в реках : моногр. / В. А. Вавилин. – М. : Наука, 1983. – 158 с.
4. Ковальчук П. І. Моделювання і прогнозування стану навколишнього середовища: навч. посіб. / П. І. Ковальчук. – Київ : Либідь, 2003. – 208 с.
5. Прокопенко А. И. Экономико-экологическое моделирование : учеб. пособ. / А. И. Прокопенко, А. Г. Вайнер, В. Л. Галкин ; Харьк. гос. пед. ун-т им. Г. С. Сковороды. – Харьков : АО «Бизнес Информ», 1997. – 360 с.
6. Примак А. В. Системный анализ контроля и управления качеством воды и воздуха : моногр. / А. В. Примак, В. В. Кафаров, К. И. Качиашвили. – Киев : Наук. думка, 1991. – 360 с.
7. Крамер Г. Математические методы статистики : пер. с англ. / Г. Крамер. – М. : Мир, 1975. – 656 с.
8. Бендат Дж. Прикладной анализ случайных данных : пер. с англ. / Дж. Бендат, А. Пирсол. – М. : Наука, 1989. – 540 с.

3 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Метою курсової роботи є поглиблення теоретичних знань та надбання практичних навичок у розрахунках параметрів регресійних моделей процесів навколишнього середовища за даними синхронних спостережень та графічному відображенні (візуалізації) даних спостережень і розрахунків.

Об'єктом розгляду є ділянка ріки проміж випуском стічної води і контрольним створом, де відбуваються процеси розбавлення і трансформації забруднюючих речовин, що надходять зі стічною водою скиду та від вище розташованих джерел забруднення.

У завданні на розрахунково-графічну роботу наводяться дані синхронних вимірювань вмісту забруднюючої речовини на випуску стічної води і в контрольному створі.

Результатом роботи мають бути розраховані:

- оцінки параметрів двох параметричної лінійної регресійної моделі залежності вмісту речовини у контрольному створі від її вмісту в стічній воді;
- залишки регресії;
- параметри довірчої області;
- параметри довірчого інтервалу регресії;
- параметри довірчого інтервалу прогнозів впливу скиду на вміст речовини у контрольному створі.

На підставі проведених розрахунків мають бути визначені умови існування регресії даних вимірювань, а також побудовані:

- графік (точковий) розподілу даних синхронних вимірювань;
- графік (точковий) розподілу залишків регресії;
- графік регресійної залежності;
- графік довірчих інтервалів регресійної залежності;
- графік довірчих інтервалів прогнозу впливу скиду стічної води на вміст речовини у контрольному створі.

Пояснювальна записка до розрахунково-графічної роботи має включати зміст, три розділи, п'ять графіків повного регресійного аналізу даних на трьох рисунках, три таблиці з вихідними даними й розрахунками.

3.1 Розрахункові залежності

Скиди виробничих, побутових і сільськогосподарських стічних вод у поверхневі води вносять суттєві зміни в їх гідрохімічний і біологічний режим, змінюючи якість води, порушуючи життєдіяльність рослинних і тваринних організмів. Тому витрати скидних стічних вод і вміст забруднюючих речовин у стічних водах підлягають нормуванню залежно від асимілюючої здатності поверхневих вод. Нормативи гранично допустимих скидів розраховуються і встановлюються з використанням математичних моделей впливу скидів на якість поверхневих вод для гарантованих з певною забезпеченістю умов

скидання. Найбільш поширеною моделлю розрахунку впливу окремого скиду стічної води на якість води річки є модель матеріального балансу забруднюючої речовини:

$$C_{\kappa\sigma} = \frac{C_{\sigma\tau} - C_{\phi}}{n} + C_{\phi}. \quad (3.1)$$

де $C_{\kappa\sigma}$ – вміст забруднюючої речовини у контрольному створі, мг/дм³;

$C_{\sigma\tau}$ – вміст забруднюючої речовини в стічній воді скиду, мг/дм³;

C_{ϕ} – фоновий вміст забруднюючої речовини в річці безпосередньо перед місцем розташування випуску стічної води, мг/дм³;

n – кратність розбавлення стічної води річковою на шляху від місця випуску до контрольного створу.

Проте оцінка впливу скиду на вміст забруднюючої речовини у контрольному створі за моделлю (3.1) є досить складною проблемою через те, що, наприклад, кратність розбавлення n є величиною, складним чином залежною від місцевих гідродинамічних умов переносу речовини річкою. Альтернативою є побудова статистичної моделі оцінки впливу скиду, якщо існують дані регулярних синхронних гідрохімічних спостережень (вимірювань) вмісту забруднюючої речовини в стічній воді та контрольному створі, що мають проводитися на випусках з великими річними об'ємами скиду стічної води. Саме модель (3.1) дозволяє висловити припущення щодо структури статистичного зв'язку $C_{\kappa\sigma}$ і $C_{\sigma\tau}$:

$$C_{\kappa\sigma} = n^{-1}C_{\sigma\tau} + (1 - n^{-1})C_{\phi} = f(C_{\sigma\tau}) + e = \theta_0 + \theta_1 C_{\sigma\tau} + e$$

де $f(C_{\sigma\tau}) = \theta_0 + \theta_1 C_{\sigma\tau}$ – лінійна регресія величини $C_{\kappa\sigma}$, що розглядається як випадкова, за величиною $C_{\sigma\tau}$;

θ_0 і θ_1 – параметри регресії;

e – внесок випадкових факторів, що визначають вплив фонові концентрації та умов розбавлення стічної води.

Задачами регресійного аналізу є перевірка припущення, що регресія має вигляд:

$$f(C_{\sigma\tau}) = \theta_0 + \theta_1 C_{\sigma\tau}, \quad (3.2)$$

а також визначення величин регресійних параметрів і характеристик «шуму», тобто впливу e випадкових факторів.

Вихідними даними для проведення повного регресійного аналізу, метою якого є побудова статистичної (регресійної) моделі впливу скиду стічної води на якість річкової води у контрольному створі, є синхронні ряди спостережень величин $C_{\sigma\tau}$ і $C_{\kappa\sigma}$ (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Дані вимірювань величин $C_{\sigma\tau}$ і $C_{\kappa\sigma}$

Номер вимірювання	1	2	...	<i>i</i>	...	<i>M</i>
$C_{\sigma\tau,i}$	$C_{\sigma\tau,1}$	$C_{\sigma\tau,2}$...	$C_{\sigma\tau,i}$...	$C_{\sigma\tau,M}$
$C_{\kappa\sigma,i}$	$C_{\kappa\sigma,1}$	$C_{\kappa\sigma,2}$...	$C_{\kappa\sigma,i}$...	$C_{\kappa\sigma,M}$

Число M визначає розмір вибірки спостережень, а індекс i нумерує дані вимірювань. Розрахунки і визначення проводять у наступній послідовності.

Візуалізація розподілу даних вимірювань. Спочатку треба візуально упевнитися, що розподіл даних вимірювань має ознаки лінійної регресії. Це досягається побудовою точкового графіка розподілу парних вимірів $(C_{cm,i}; C_{kc,i})$ у прямокутній системі координат, де вздовж вісі абсцис відкладають величини $C_{cm,i}$, а вздовж вісі ординат – величини $C_{kc,i}$. Якщо розподіл точок утворює видовжену вздовж певного напрямку конфігурацію, то сподівання на наявність лінійної регресії (3.2) мають укріпитися. Далі розрахунками визначають наступні величини.

Розрахунок **статистик**, тобто величин, що є алгебричними комбінаціями результатів вимірювань виконують за формулами:

вибіркове середнє

$$\bar{C}_{cm} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M C_{cm,i}$$

вибіркове середнє

$$\bar{C}_{kc} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M C_{kc,i}$$

вибіркове середнє

$$\overline{C_{cm}^2} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M C_{cm,i}^2$$

вибіркове середнє

$$\overline{C_{cm} C_{kc}} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M C_{cm,i} C_{kc,i}$$

стандартне відхилення

$$s_{cm} = \sqrt{\frac{M}{M-1} (\overline{C_{cm}^2} - \bar{C}_{cm}^2)}$$

коефіцієнт коваріації

$$\text{cov} = \frac{M}{M-1} (\overline{C_{cm} C_{kc}} - \bar{C}_{cm} \bar{C}_{kc})$$

Оцінка **параметрів регресії**:

$$\hat{\theta}_1 = \frac{\text{cov}}{s_{cm}^2}; \quad (3.3)$$

$$\hat{\theta}_0 = \bar{C}_{kc} - \hat{\theta}_1 \bar{C}_{cm}. \quad (3.4)$$

Розрахунок **залишків регресії**:

$$e_i = C_{kc,i} - \hat{\theta}_0 - \hat{\theta}_1 C_{cm,i}; \quad (3.5)$$

$$(i = 1, 2, 3, \dots, M).$$

Визначення **стандартного відхилення** залишків регресії:

$$S_e = \sqrt{\frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^M e_i^2}. \quad (3.6)$$

Розрахункові величини залишків регресії наводяться в табличній формі (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Залишки регресії

Вимірювання, i	1	2	...	M
Залишок регресії, e_i	e_1	e_2	...	e_M

Щоб упевнитися, що внесок інших факторів, окрім вмісту речовини в стічній воді, може дійсно розглядатися як випадковий, в прямокутній системі координат позначаються точки, у яких абсциса є порядковим номером вимірювання i , а координата – величина відповідного залишку регресії e_i . Якщо точки на графіку хаотично розподіляються вздовж вісі абсцис обабіч неї, то це є виявом випадковості впливу факторів e . Якщо розподіл точок виявляє певну закономірність, то це означає, що лінійна регресія (3.2) не відображає повністю вплив скиду на якість води у контрольному створі, і треба сформулювати іншу гіпотезу щодо такої залежності, окрім лінійної.

3.2 Розрахунок параметрів довірчої області

Довірча область це є частина фазової площини, тобто площини у прямокутній системі координат θ_0, θ_1 , де з довірчою ймовірністю P_α розташовані дійсні величини параметрів регресії θ_0 і θ_1 , які, пена річ, відрізняються від їх випадкових оцінок $\hat{\theta}_0$ і $\hat{\theta}_1$. Визначення довірчої області параметрів регресії є дуже відповідальним моментом регресійного аналізу, тому що саме на цій стадії остаточно вирішується питання щодо можливості побудови моделі лінійної регресії (3.2). Границя довірчої області параметрів моделі (3.2) є еліпс:

$$(\theta_0 - \hat{\theta}_0)^2 + 2\overline{C}_{cm}(\theta_0 - \hat{\theta}_0)(\theta_1 - \hat{\theta}_1) + \overline{C}_{cm}^2(\theta_1 - \hat{\theta}_1)^2 = \frac{2}{M} S_e^2 F_{2;M-2;\alpha},$$

де $F_{2;M-2;\alpha}$ – величина зворотного F - розподілу ймовірностей зі степенями свободи $\nu_1 = 2$ і $\nu_2 = M - 2$ і рівнем значущості $\alpha = 1 - P_\alpha$, що визначається за статистичними таблицями або за функцією з бібліотеки Excel[®]. Поширеним в інженерній екології є прийняття рівня значимості $\alpha = 0,05$.

Розрахунок параметрів довірчої області починається з визначення її нижньої $\min \theta_1$ та верхньої $\max \theta_1$ границь вздовж вісі абсцис θ_1 наступними обчисленнями:

$$d = \frac{S_e}{\sigma_{cm}} \sqrt{\frac{2}{M} F_{2;M-2;\alpha}}; \quad (3.7)$$

$$\min \theta_1 = \hat{\theta}_1 - d; \quad \max \theta_1 = \hat{\theta}_1 + d.$$

Якщо нижня і верхня границі мають однаковий знак, тобто:

$$\min \theta_1 \cdot \max \theta_1 > 0,$$

то довірча область не перетинає вісь θ_1 і гіпотеза щодо існування регресії у вигляді (3.2) має бути прийнятою. У протилежному випадку гіпотеза $\theta_1 = 0$ не може бути відкинutoю, тобто дані вимірювань не дозволяють виявити зв'язок (3.2) через їх недостатність або відсутність самого зв'язку (тренду).

Якщо наведена умова задовольняється, то регресійна модель приймається у вигляді:

$$\hat{C}_{kc} = \hat{\theta}_0 + \hat{\theta}_1 C_{cm}, \quad (3.8)$$

де \hat{C}_{kc} – середня величина вмісту забруднюючої речовини у контрольному створі, що очікується за величиною вмісту C_{cm} забруднюючої речовини в стічній воді.

Крім того, для миттєвих величин C_{kc} вмісту речовини у контрольному створі, що можуть спостерігатися у контрольному створі за величиною вмісту C_{cm} речовини у стічній воді маємо модель:

$$C_{kc} = \hat{\theta}_0 + \hat{\theta}_1 C_{cm} + e.$$

У разі виявлення регресії регресійний аналіз завершується побудовою графіків лінії регресії і двох довірчих інтервалів.

Візуалізація регресії та довірчих інтервалів. Графік лінійної регресії це є графік функції (3.8), тобто графік прямої лінії, що проходить з нахилом до осей координат C_{cm} і C_{kc} .

Графік нижньої $l(C_{cm})$ і верхньої $h(C_{cm})$ границь довірчого інтервалу для величини \hat{C}_{kc} будується за рівняннями:

$$\beta(C_{cm}) = t_{M-1;\alpha} S_e \sqrt{\frac{1}{M} + \frac{(C_{cm} - \bar{C}_{cm})^2}{(M-1)s_{cm}^2}}; \quad (3.9)$$

$$l(C_{cm}) = \hat{\theta}_0 + \hat{\theta}_1 C_{cm} - \beta(C_{cm}); \quad (3.10)$$

$$h(C_{cm}) = \hat{\theta}_0 + \hat{\theta}_1 C_{cm} + \beta(C_{cm}), \quad (3.11)$$

де $t_{M-1;\alpha}$ – величина зворотного розподілу Стюдента з $\nu = M - 1$ степенями свободи і рівнем значущості, $\alpha = 1 - P_\alpha$;

P_α – довірна імовірність.

Графік нижньої $L(C_{cm})$ і верхньої $H(C_{cm})$ границь довірчого інтервалу, в якому можуть відбуватися майже усі коливання миттєвої величини C_{kc} вмісту речовини у контрольному створі за її вмістом C_{cm} в стічній воді будується за рівняннями:

$$\lambda(C_{cm}) = t_{M-1;\alpha} S_e \sqrt{1 + \frac{1}{M} + \frac{(C_{cm} - \bar{C}_{cm})^2}{(M-1)s_{cm}^2}}; \quad (3.12)$$

$$L(C_{cm}) = \hat{\theta}_0 + \hat{\theta}_1 C_{cm} - \lambda(C_{cm}); \quad (3.13)$$

$$H(C_{cm}) = \hat{\theta}_0 + \hat{\theta}_1 C_{cm} + \lambda(C_{cm}). \quad (3.14)$$

3.3 Приклад розрахунку

Варіант ХХ

Таблиця 3.3 – Дані вимірювань (мг/дм³) вмісту речовини у стічній воді та контрольному створі

i	$C_{cm,i}$	$C_{kc,i}$	i	$C_{cm,i}$	$C_{kc,i}$	i	$C_{cm,i}$	$C_{kc,i}$
1	231	38,5	11	249	38,4	21	290	38,5
2	366	39,9	12	283	39,2	22	297	38,9
3	255	39,1	13	374	40,2	23	404	40,1
4	237	38,7	14	326	39,0	24	340	39,1
5	268	38,6	15	308	39,6	25	304	39,1
6	347	39,8	16	301	38,8	26	250	38,2
7	386	39,8	17	265	39,2	27	300	39,6
8	366	39,5	18	375	40,0	28	328	39,2
9	276	39,0	19	352	39,5	29	251	38,5
10	235	38,2	20	369	40,2	30	292	38,7

3.3.1 Побудова діаграми розподілу даних та розрахунок статистик

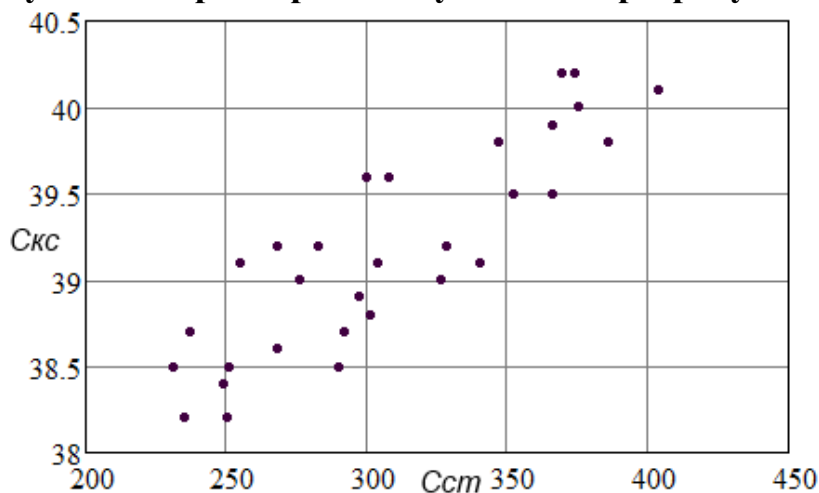


Рисунок 3.1 – Вміст речовини в стічній воді і в контрольному створі

З розгляду розподілу точок на графіку (рис. 3.1) робимо висновок, що визначення впливу скиду стічної води на вміст речовини у контрольному створі можливе у вигляді регресії:

$$C_{kc} = \theta_0 + \theta_1 C_{cm} + e.$$

Розрахунок статистик:

$$\bar{C}_{cm} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M C_{cm,i} = 307,4 \text{ мг/дм}^3;$$

$$\bar{C}_{kc} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M C_{kc,i} = 39,17 \text{ мг/дм}^3;$$

$$\overline{C_{cm}^2} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M C_{cm,i}^2 = 97\,104 \text{ мг}^2/\text{дм}^6;$$

$$\overline{C_{cm} C_{kc}} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M C_{cm,i} C_{kc,i} = 12\,074 \text{ мг}^2/\text{дм}^6;$$

$$s_{cm} = \sqrt{\frac{M}{M-1} (\overline{C_{cm}^2} - \bar{C}_{cm}^2)} = 50,75 \text{ мг/дм}^3; \quad \text{cov} = \frac{M}{M-1} (\overline{C_{cm} C_{kc}} - \bar{C}_{cm} \bar{C}_{kc}) = 26,18 \text{ мг}^2/\text{дм}^6.$$

Розрахунок (оцінка) величини параметрів регресії:

$$\hat{\theta}_1 = \frac{\text{cov}}{s_{cm}^2} = 0,01017; \quad \hat{\theta}_0 = \bar{C}_{kc} - \hat{\theta}_1 \bar{C}_{cm} = 36,04 \text{ мг/дм}^3.$$

Тепер необхідно визначити, чи є розраховані величини параметрів регресії статистично значущими.

3.3.2 Перевірка статистичної значущості параметрів регресії

Розраховуємо залишки регресії за формулою:

$$e_i = C_{kc,i} - \hat{\theta}_0 - \hat{\theta}_1 C_{cm,i}; \quad i = 1, 2, 3, \dots, M$$

і результати розрахунку наводимо у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Залишки регресії e_i (мг/дм³)

i	1	2	3	4	5	6
e_i	0,1097	0,1372	0,4657	0,2487	-0,1665	0,2304
i	7	8	9	10	11	12
e_i	-0,1665	-0,2304	0,1552	-0,2309	-0,1733	0,2810
i	13	14	15	16	17	18
e_i	0,3558	-0,3561	0,4269	-0,3020	0,4335	0,1457
i	19	20	21	22	23	24
e_i	-0,1205	0,4067	-0,4901	-0,1613	-0,0492	-0,3985
i	25	26	27	28	29	30
e_i	-0,0325	-0,3834	0,5082	-0,1765	-0,0936	-0,3105

Розраховуємо стандартне відхилення залишків регресії за формулою:

$$S_e = \sqrt{\frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^M e_i^2} = 0,2970 \text{ мг/дм}^3.$$

Наводимо розподіл залишків регресії у графічному вигляді (рис. 3.2).

З розгляду розподілу точок на графіку рисунку 3.2 робимо висновок, що вплив інших факторів на результати вимірювань схожий на випадковий.

Розрахунок параметрів довірчої області для параметру регресії θ_1 виконуємо за формулами:

$$F_{2;M-2;\alpha} = F_{2;28;0,05} = 3,340;$$

$$d = \frac{S_e}{s_{cm}} \sqrt{\frac{2}{M} F_{2;M-2;\alpha}} = \frac{0,2970}{50,75} \sqrt{\frac{3,340}{15}} = 0,00276;$$

$$\min \theta_1 = \hat{\theta}_1 - d = 0,01017 - 0,00276 = 0,00741;$$

$$\max \theta_1 = \hat{\theta}_1 + d = 0,0129.$$

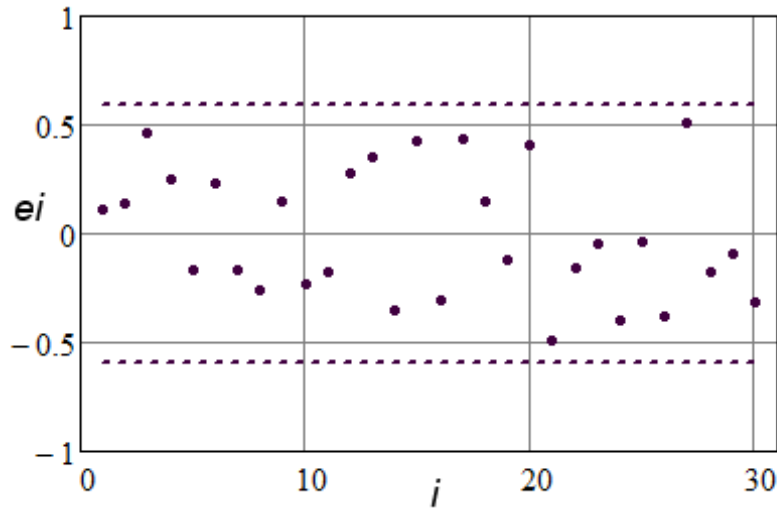


Рисунок 3.2 - Розподіл залишків регресії;
пунктиром позначений інтервал $(2S_e; -2S_e)$

У зв'язку з тим, що нижня і верхня границі довірчої області мають однаковий знак, тобто:

$$\min \theta_1 \cdot \max \theta_1 = 9,56 \cdot 10^{-5} > 0,$$

то довірна область не перетинає вісь $0\theta_1$, і має бути прийнята гіпотеза щодо існування лінійної регресії у вигляді:

$$\hat{C}_{kc} = 36,04 + 0,01017 \cdot C_{cm} \text{ (мг/дм}^3\text{)}.$$

Для миттєвих величин C_{kc} вмісту речовини у контрольному створі, що можуть спостерігатися у контрольному створі за величиною вмісту C_{cm} речовини у стічній воді маємо модель:

$$C_{kc} = 36,04 + 0,01017 \cdot C_{cm} + e \text{ (мг/дм}^3\text{)}.$$

3.3.3 Візуалізація регресії та довірчих інтервалів

Розрахунок координат точок проводимо за формулами (2.8) – (2.14), що, з урахуванням величини процентиля (95%) розподілу Стюдента $t_{M-1;\alpha} = t_{29;0,05} = 2,045$, набувають наступного вигляду:

$$\hat{C}_{kc} = 36,04 + 0,01017 \cdot C_{cm} \text{ , мг/дм}^3;$$

$$\beta(C_{cm}) = t_{M-1;\alpha} S_e \sqrt{\frac{1}{M} + \frac{(C_{cm} - \bar{C}_{cm})^2}{(M-1)s_{cm}^2}} = 0,6074 \sqrt{0,0333 + \frac{(C_{cm} - 307,6)^2}{74691}} \text{ , мг/дм}^3;$$

$$l(C_{cm}) = 36,04 + 0,01017 \cdot C_{cm} - \beta(C_{cm}) \text{ , мг/дм}^3;$$

$$h(C_{cm}) = 36,04 + 0,01017 \cdot C_{cm} + \beta(C_{cm}) \text{ , мг/дм}^3;$$

$$\lambda(C_{cm}) = t_{M-1;\alpha/2} S_e \sqrt{1 + \frac{1}{M} + \frac{(C_{cm} - \bar{C}_{cm})^2}{(M-1)s_{cm}^2}} = 0,6074 \sqrt{1,0333 + \frac{(C_{cm} - 307,6)^2}{74691}} \text{ , мг/дм}^3;$$

$$L(C_{cm}) = 36,04 + 0,01017 \cdot C_{cm} - \lambda(C_{cm}) \text{ , мг/дм}^3;$$

$$H(C_{cm}) = 36,04 + 0,01017 \cdot C_{cm} + \lambda(C_{cm}) \text{ , мг/дм}^3.$$

Для графічної візуалізації регресії та довірчих інтервалів разом з даними спостережень визначаємо інтервал зміни величини C_{cm} так, щоб він охоплював усі дані вимірювань і був зручним для обрання шагу ΔC_{cm} зміни величини C_{cm} . У нашому випадку для графічного відображення довірчих інтервалів лінійної регресії достатньо 8 – 10 точок. Згідно з табл. 1 вихідних даних:

$$\min C_{cm,i} = 231, \text{ мг/дм}^3;$$

$$\max C_{cm,i} = 404, \text{ мг/дм}^3.$$

Тому обираємо інтервал зміни величини C_{cm} вздовж вісі абсцис в межах від 225 мг/дм^3 до 425 мг/дм^3 і $\Delta C_{cm} = 25 \text{ мг/дм}^3$, що забезпечить 9 точок для проведення кожної лінії. Результати розрахунків координат точок ліній регресії та границь обох довірчих інтервалів наводяться в табличній формі (табл. 3.5).

Графіки лінії регресії та границь обох довірчих інтервалів розміщуються на одному рисунку (рис. 3.3) разом з точками, що відображують розподіл даних вимірювань, які наближаються лінійною регресійною моделлю.

Таблиця 3.5 – Координати точок лінії регресії та границь довірчих інтервалів (мг/дм^3)

C_{cm}	225	250	275	300	325
\hat{C}_{kc}	38,34	38,59	38,84	39,1	39,35
$\beta(C_{cm})$	0,2152	0,1700	0,1330	0,1127	0,1181
$l(C_{cm})$	38,109	38,41	38,704	38,98	39,23
$h(C_{cm})$	38,539	38,75	38,97	39,206	39,47
$\lambda(C_{cm})$	0,6476	0,6339	0,625	0,6215	0,621
$L(C_{cm})$	37,69	37,96	38,22	38,47	38,73
$H(C_{cm})$	38,98	39,22	39,47	39,72	39,97
C_{cm}	350	375	400	425	
\hat{C}_{kc}	39,60	39,86	40,11	40,36	
$\beta(C_{cm})$	0,1464	0,1874	0,2346	0,2849	
$l(C_{cm})$	39,459	39,675	39,884	40,09	
$h(C_{cm})$	39,752	40,05	40,353	40,66	
$\lambda(C_{cm})$	0,628	0,6388	0,6543	0,674	
$L(C_{cm})$	38,97	39,22	39,45	39,69	
$H(C_{cm})$	40,23	40,49	40,76	41,03	

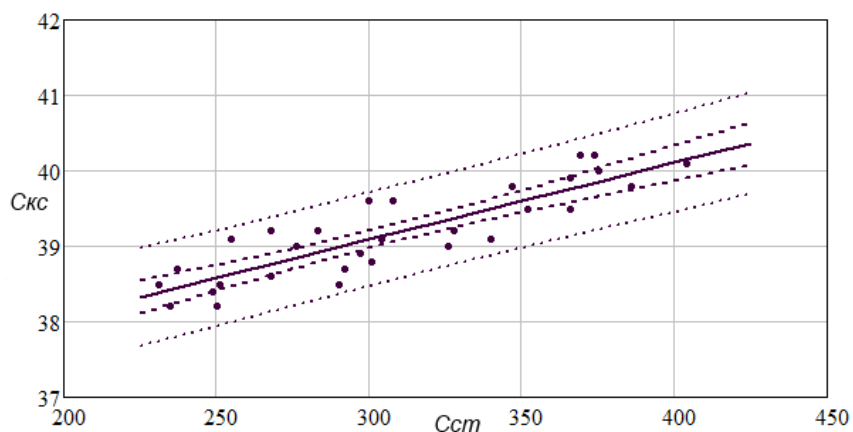


Рисунок 3.3 - Лінії (суцільна) регресії, границь її довірчого інтервалу (штриховані) та довірчого інтервалу (пунктирні) вимірюваних величин вмісту (точки)

3.4 Вимоги до виконання курсової роботи

Робота має бути виконана самостійно за варіантом вихідних даних, що надається викладачем. Пояснювальна записка має бути викладена українською або російською мовами.

Розрахунки виконуються за допомогою наукового калькулятора або в середовищі Excel®.

Розрахунки за допомогою наукового калькулятора виконуються і наводяться у тексті записки з точністю до четвертої значимої цифри. Розрахунки в середовищі Excel® виконуються з точністю, що дозволяє ЕОМ, але наводяться у тексті записки також з точністю до четвертої значимої цифри.

Якщо розрахунки виконувалися в середовищі Excel®, то у додатку до пояснювальної записки наводиться роздруківка листів Excel® з програмою.

Креслення графіків виконується у вигляді, що наведений в розділі 3, але кожний графік має бути розташований на окремому листі записки формату А4. Графіки можуть бути виконані у відповідному масштабі на міліметровому папері або на аркуші в середовищі Excel®.

Робота оцінюється за такими складовими:

- самостійність у виконанні роботи;
- точність (відносні похибки) розрахунків;
- інформативність та естетика графічного відображення даних і результатів розрахунків;
- додержання правил граматики.

3.5 Список рекомендованих літературних джерел

1. Крамер Г. Математические методы статистики : пер. с англ. / Г. Крамер. – М. : Мир, 1975. – 656 с.
2. Боровиков А. А. Математическая статистика : моногр. / А. А. Боровиков. – М. : Наука, 1984. – 472 с.
3. Бендат Дж. Прикладной анализ случайных данных : пер. с англ. / Дж. Бендат, А. Пирсол. – М. : Наука, 1989. – 540 с.

4 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Самостійна робота студента – це важлива частина підготовки майбутнього фахівця, що дозволяє йому навчитися роботі з різноманітними науковими й літературними джерелами, а також вміню обробляти й аналізувати отриману інформацію. З метою продуктивної організації самостійної роботи студентів методичними вказівками передбачається перелік питань для самостійного вивчення і для обговорення у відповідності до змістовних модулів і навчальних тем, що передбачені навчальною і робочою програмою.

4.1 Понятійний апарат і засади моделювання і прогнозування стану довкілля

Завдання до теми: вивчення сучасних напрямків і ознайомлення з засобами використання математичних моделей для діагнозів і прогнозів екологічних процесів довкілля.

4.2 Місце і види математичного моделювання в системному аналізі проблем забруднення довкілля

Завдання до теми: вивчення сучасних моделей і ознайомлення з засобами візуалізації даних спостережень екологічних процесів довкілля.

4.3 Системний підхід до побудови математичних моделей

Завдання до теми: ознайомлення з прикладами використання математичних моделей у дослідженнях складних систем довкілля.

4.4 Регресійні моделі стану систем довкілля

Завдання до теми:

- 1) ознайомлення з прикладами використання регресійних моделей;
- 2) оцінювання величини індикаторів стану великих систем довкілля.

4.5 Моделі Монте-Карло

Завдання до теми: знайомлення з прикладами використання моделей Монте-Карло для вивчення статистичних характеристик процесів довкілля.

4.6 Марковські моделі процесів у довкіллі

Завдання до теми: ознайомлення з прикладами використання Марковських моделей динаміки систем довкілля.

4.7 Аналітичне моделювання фізичних і біотичних процесів у довкіллі

Завдання до теми: ознайомлення з прикладами використання моделей фізичних і біотичних процесів у довкіллі.

4.8 Принципи складання детермінованих моделей процесів у довкіллі

Завдання до теми: ознайомлення з прикладами використання принципу матеріального балансу, закону діючих мас і принципу стехіометричних обмежень в детермінованих моделях систем навколишнього середовища.

4.9 Детерміновані моделі процесів у біореакторах

Завдання до теми: ознайомлення з прикладами практичного використання детермінованих моделей для вивчення процесів у біореакторах.

4.10 Детерміновані моделі процесів у водоймах

Завдання до теми: ознайомлення з прикладами використання детермінованих моделей для імітації процесів формування якості води у водоймах.

4.11 Дискретні моделі динаміки чисельності окремих популяцій

Завдання до теми: ознайомлення з прикладами використання моделей динаміки чисельності окремих популяцій організмів у навколишньому середовищі.

4.12 Непереривні моделі динаміки біоценозів з урахуванням міжвидових відносин

Завдання до теми: ознайомлення з прикладами моделей динаміки біоценозів з урахуванням міжвидових відносин.

4.13 Моделювання трофічного ланцюга на прикладі моделей «хижак-жертва»

Завдання до теми: ознайомлення з прикладами моделювання трофічних ланцюгів з використанням динамічних моделей.

4.13 Список рекомендованих інформаційних джерел

1. Моделювання і прогнозування стану довкілля: підруч. / [Лаврик В. І. та ін.] ; за ред. докт. техн. наук В. І. Лаврика. – Київ : ВЦ «Академія», 2010. – 400 с.
2. Пэнтл Р. Методы системного анализа окружающей среды : пер. с англ. / Р. Пэнтл. – М. : Мир, 1979. – 214 с.
3. Прокопенко А. И. Экономико-экологическое моделирование : учеб. пособ. / А. И. Прокопенко, А. Г. Вайнер, В. Л. Галкин ; Харьк. гос. пед. ун-т им. Г. С. Сковороды. – Харьков : АО «Бизнес Информ», 1997. – 360 с.
4. Вавилин В. А. Нелинейные модели биологической очистки и процессов самоочищения в реках : моногр. / В. А. Вавилин. – М. : Наука, 1983. – 158 с.
5. Лаврик В. І. Методи математичного моделювання в екології : моногр. / В. І. Лаврик. – Київ : Фітосоціоцентр, 1998. – 131с.

Навчальне видання

Методичні вказівки
до виконання практичних занять,
курсової та самостійної роботи
з дисципліни

«МОДЕЛЮВАННЯ І ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ»

*(для студентів денної та заочної форм навчання
спеціальності 101 – Екологія)*

Укладач **БАРАНІК** Валерій Олександрович

Відповідальний за випуск *Ф. В. Стольберг*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *К. А. Алексанян*

План 2016, поз. 73 М

Підп. до друку 10.02.2016
Друк на різнографі
Зам. №

Формат 60x84/16
Ум. друк. арк. 0,93
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017 р.